

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2010

Petr Kolibáč

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

**Měření vypínacích charakteristik digitální
ochrany vedení**
**Switching-off Characteristic Measurement of
Microprocessor Line Protection**

2010

Petr Kolibáč

Prohlašuji, že jsem tuto Bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: 7.5.2010

Podpis:.....

Děkuji doc. Dr.Ing. Zdeňkovi Medvecovi, vedoucímu mé Bakalářské práce, za cenné rady a připomínky.

Abstrakt

V této práci je uveden teoretický rozbor ochran a jištění. Popisuji zde nadproudové ochrany vedení a jejich nastavení. Dále uvádím popis digitální ochrany SPAA 341 C2 a jejího modulu SPCJ 4D28. Následuje kontrola závislých a nezávislých vypínacích charakteristik ochrany. V závěru jsem zhodnotil naměřené výsledky.

Klíčová slova

nadproudová ochrana, časově závislá vypínací charakteristika, časově nezávislá vypínací charakteristika, ochrana SPAA 341 C2, modul SPCJ 4D28

Abstract

In this work is presented the theoretical analysis of protection. I describe here the over-current protection and its settings. Then I follow with description of the digital protection SPAA 341 C2 and its module SPCJ 4D28. There is continued with the control of time-dependent and time-independent switching-off characteristics. At the end I evaluated the measured results.

Key words

over-current protection, time-dependent switching-off characteristic, time-independent switching-off characteristic, protection SPAA 341 C2, module SPCJ 4D28

Obsah

Úvod.....	1
1. Teoretický rozbor ochran a jištění.....	2
1.1. Ochrana.....	2
1.2. Chráněný objekt.....	3
1.3. Požadavky kladené na ochrany.....	4
1.4. Základní pojmy oboru ochran.....	5
1.5. Základní členy ochrany.....	6
1.6. Rozdělení ochran	8
2. Nadproudové ochrany	9
2.1. Nezávislé nadproudové ochrany.....	12
2.1.1. Nastavování nezávislých nadproudových ochran	13
2.2. Závislé nadproudové ochrany.....	16
3. Digitální ochrana SPAA 341 C2.....	18
4. Modul SPCJ 4D28	20
4.1. Popis funkce	21
4.2. Technické údaje měřeného stupně I_D	22
5. Kontrola charakteristik modulu SPCJ 4D28.....	23
5.1. Normálně závislá charakteristika.....	24
5.2. Velmi závislá charakteristika.....	26
5.3. Extrémně závislá charakteristika	28
5.4. Dlouhodobě závislá charakteristika.....	30
5.5. Nezávislá charakteristika.....	32
6. Zhodnocení naměřených výsledků.....	33
Závěr	34
Literatura.....	35

Seznam použitých symbolů a zkratk

$v(t)$	vstupy objektu ovládané ochranou	
$u(t)$	vstupy, které ochrana nemůže ovlivnit	
$y(t)$	vektor výstupů měřených ochranou a současně vstupem ochrany	
$r(t)$	ostatní vstupy neměřené ochranou	
N	naměřená hodnota	
S	skutečná hodnota	
nn	nízké napětí	
vn	vysoké napětí	
Δa	absolutní chyba	
δ	relativní chyba	(%)
Z	impedance	(Ω)
τ	časová konstanta	(s)
t	čas	(s)
$t_{\text{nam.}}$	naměřená hodnota času	(s)
$t_{\text{vyp.}}$	vypočtená hodnota času	(s)

Úvod

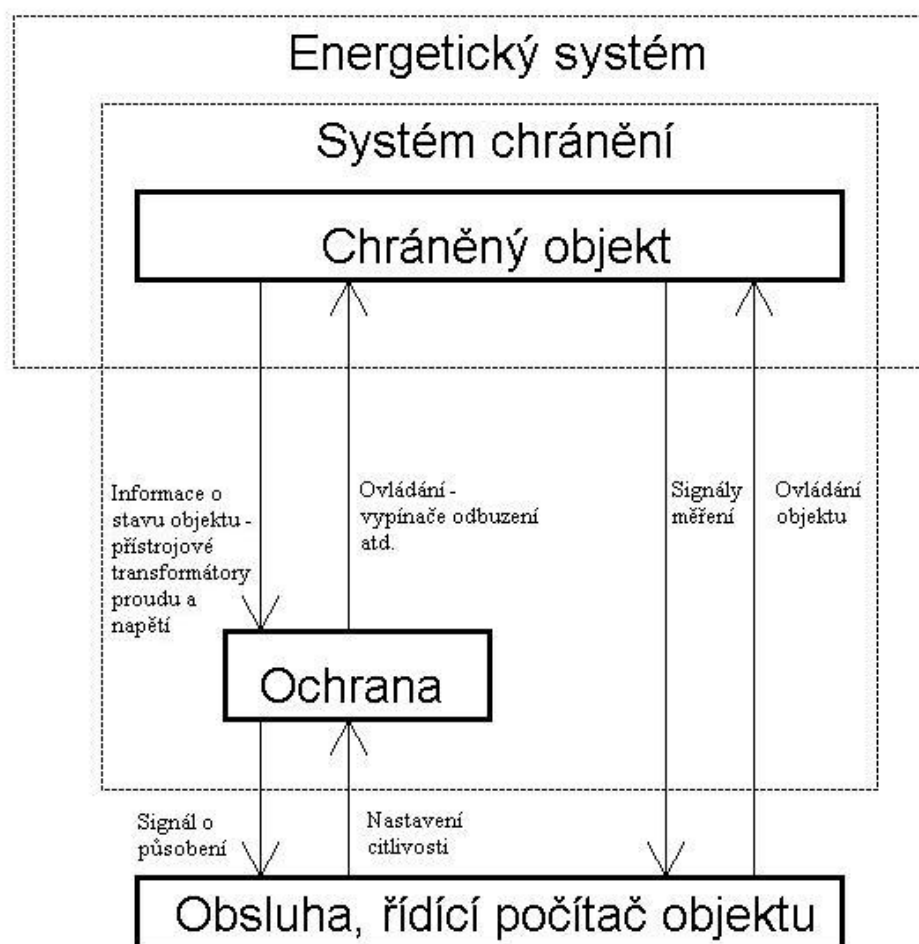
Ve své práci se věnuji ochranám a podrobně popisuji nadproudové ochrany. Ochrany mají v energetice velký význam. Při poruchových stavech ochrany zamezují poškození důležitých a drahých zařízení. Postupně se přechází z elektromechanických ochran na digitální ochrany a to z důvodu vyšší přesnosti, spolehlivosti a tím i vyšší bezpečnosti.

V první kapitole se zabývám teoretickým rozbořem ochran, popisují obecně ochranu a chráněný objekt. Uvádím zde požadavky kladené na ochrany, základní pojmy oboru ochran, základní členy ochrany a rozdělení ochran. V další kapitole se zaměřují na nadproudové ochrany a jejich nastavení. Ve třetí kapitole popisují digitální ochranu SPAA 341 C2. Navazující kapitola se zabývá modulem SPCJ 4D28. V Páté kapitole je provedena kontrola vypínacích charakteristik. V poslední kapitole je uvedeno zhodnocení naměřených výsledků.

1. Teoretický rozbor ochran a jištění

1.1. Ochrana

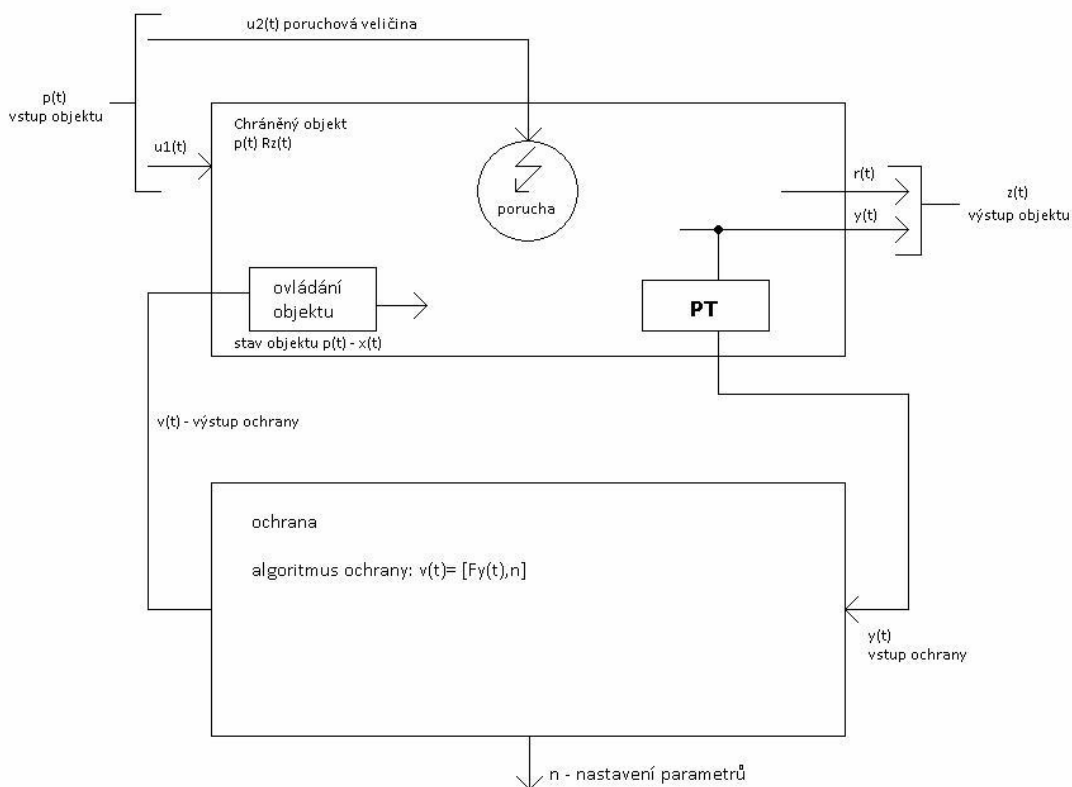
Ochrana je zařízení, které zajišťuje bezpečné a spolehlivé provozování určité částí energetického systému. Informace o jednotlivých veličinách chráněného objektu získává přes přístrojové transformátory proudu a napětí popř. z čidel, které mohou měřit další stavové veličiny chráněného objektu. Tyto informace ochrana zpracovává a rozlišuje, zda je objekt v normálním provozu nebo v poruchovém stavu. V případě poruchy ochrana zamezí havárii chráněného objektu vypnutím, odbuzením, apod. Ochrana předává signály o působení obsluhy nebo řídicímu počítači, může být také vazba mezi počítačem a chráněným objektem. Ochrana vysílá i signály o působení pro obsluhu. Obsluha může měnit nastavení parametrů ochrany, například citlivost nebo časové zpoždění. Vzájemná spolupráce mezi ochranou a chráněným objektem je zobrazena na obr. 1.1.



Obr. 1.1 Schéma vazby ochrany a chráněného objektu

1.2. Chráněný objekt

Chráněný objekt lze definovat jako fyzikální zařízení, které přenáší energii v rámci svého okolí. Ochrana se stará o to, aby chráněný objekt nepřekročil meze svého normálního působení.



Obr. 1.2 Princip uzavřené smyčky chránění

Okamžitou funkci chráněného objektu je možné určit pomocí stavových veličin. Stavová veličina je v podstatě fyzikální veličina, která nám svou velikostí charakterizuje chování objektu. Stavové veličiny v oboru ochran jsou: napětí, proudy, okamžité výkon, okamžitá frekvence, teploty v určitých místech objektu, mechanické rychlosti, mechanické síly atd. [1.]

Stav objektu $x(t)$ je soubor stavových veličin objektu. Zapisuje ve tvaru vektoru.

$$x(t) = \begin{bmatrix} i_1(t) \\ i_2(t) \\ i_3(t) \end{bmatrix}$$

Vstup objektu $p(t)$ je vektor veličin, kterými působí okolí na chráněný objekt.

$$p(t) = \begin{bmatrix} v(t) \\ u(t) \end{bmatrix}$$

Stavové veličiny objektu jsou časovou funkcí minulých stavů vstupních veličin. To znamená, že například stav objektu $x(t)$ musí obsahovat dostatek informací o minulosti objektu, která je nutná pro určení výstupu $z(t)$.

Výstup objektu $z(t)$ je vektor veličin chráněného objektu, kterými působí na okolí.

$$z(t) = \begin{bmatrix} y(t) \\ r(t) \end{bmatrix}$$

Porucha je taková fyzikální změna na objektu, která způsobí, že stav objektu překročí meze normálního chodu.

Poruchová veličina $u_2(t)$ je fyzikální veličina, která způsobuje poruchu. Vstupní veličiny ochrany $y(t)$ jsou v poruchovém stavu velmi velké nebo malé.

Proto ochrany připojujeme přes přístrojové transformátory nebo převodníky napětí a proud. [4.]

1.3. Požadavky kladené na ochrany

Citlivost ochrany je velikost stavové veličiny, na kterou je ochrana nařízena a při které působí. Veličina, při které ochrana působí, se nastavuje nižší než hodnota poruchové veličiny. Udává v poměrných hodnotách. Koeficient citlivosti:

$$K_c = \frac{I_{ks}}{I_0} \quad (1.1.)$$

I_{ks} – Zkratový proud v místě instalace ochrany.

I_0 – Velikost proudu při kterém spíná nadproudová ochrana. [3.]

Přesnost ochrany je poměrná chyba citlivosti udávaná v procentech. Čím je vyšší přesnost, tím je větší kvalita ochrany.

$$\delta = \left| \frac{x - x_b}{x_a} \right| \cdot 100 \quad (1.2)$$

δ – přesnost ochrany (%)

x – nastavení citlivosti

x_b – skutečná citlivost ochrany

x_a – rozsah neřiditelnosti ochrany

Spolehlivost funkce ochrany znamená, že ochrana nebude samovolně působit, neobjeví-li se porucha a při poruše neselže a zapůsobí.

Snadná údržba. Na ochranách jsou prováděny pravidelné revize, u poškozených ochrany je nutná oprava nebo výměna.

Životnost ochrany je parametr, který souvisí se spolehlivostí. Spolehlivost se časem zmenšuje.

Odolnost proti rušení je parametr, s kterým je nutné počítat hlavně u číslicových a tranzistorových ochran. Na ochrany působí mnoho vlivů, které mohou ochranu poškodit. Jsou to agresivní plyny v ovzduší, prach, vibrace, magnetická a elektrická pole.

Selektivita ochran znamená to, že v případě poruchy ochrana vypne co nejmenší část sítě, ve které je porucha, část bez poruchy zůstane v provozu. Této vlastnosti se dosahuje časovým odstupňováním ochran, vysíláním blokovacích impulsů do úseků bez poruchy, odstupňováním hodnoty nastavené veličiny, měřením více veličin současně (impedanční ochrany), měřením veličiny na více místech (rozdílové a srovnávací ochrany, logické automatiky) a směrovým nastavením ochran.

Rychlost ochrany je dána časem působení. Čím je vyšší rychlost, tím se zmenšují nároky na dimenzování chráněného objektu. [1.]

1.4. Základní pojmy oboru ochran

Zálohování ochran je nutné, aby v případě poruchy hlavní ochrany došlo k vypnutí objektu ochranou záložní. U důležitých objektů se většinou používají dvě hlavní ochrany, protože záložní ochrany mívají horší parametry chránění (delší dobu působení, nižší selektivitu atd.) Záložní ochrany se dělí na místní a vzdálené:

- a) Místní ochrana měří ve stejném místě jako hlavní ochrana, ale pracuje s jiným algoritmem, má samostatné napájení a vypínací obvod.
- b) Vzdálená působí jako záložní ochrana pouze mimo svůj úsek, ve svém úseku funguje jako hlavní ochrana a pracuje na stejném principu jako hlavní ochrana. [3.]

Primární ochrana je ochrana, která pracuje bez přístrojových transformátorů. To znamená, že napětí a proud jsou přivedeny přímo z objektu.

Sekundární ochrana je připojena k objektu přes přístrojové transformátory.

Člen ochrany je soubor několika prvků ochrany, které tvoří samostatný funkční celek, například vstupní nebo koncový člen.

Rozlišovací schopnost ochrany je schopnost rozeznat dva blízké stavy objektu, které se liší o Δx , z nichž jeden je s poruchou a druhý je bez poruchy. Nejmenší hodnota Δx , kterou je ochrana schopna rozlišit, nazýváme rozlišovací schopnost ochrany.

Přidržený poměr je poměr velikosti stavové veličiny při návratu ochrany k její velikosti při náběhu ochrany. Poměr se dosazuje tak, aby vyšlo číslo menší než 1.

Nařiditelnost ochrany je rozsah všech hodnot měřené i stavové veličiny, na které lze nastavit citlivost ochrany.

Absolutní chyba Δa je definovaná jako rozdíl mezi naměřenou a nařízenou hodnotou

$$\Delta a = N - S \quad (1.3)$$

Doba působení je čas mezi vznikem poruchy a signálem na výstupu ochrany. Značí se t_p .

Algoritmus ochrany je popis funkce ochrany. Je to souhrn vztahů mezi vstupy a výstupy. Určuje, jakým způsobem ochrana působí na chráněný objekt.

Přetížitelnost ochrany je maximální velikost vstupní veličiny působící definovanou dobu, která neohrozí životnost ochrany.

Spotřeba ochrany je příkon potřebný pro provoz ochrany. Udává se odděleně pro všechny vstupy i pro pomocný napájecí obvod při jmenovitých napájecích hodnotách. [1.]

1.5. Základní členy ochrany

Vstupní člen

Převádí vstupní signál na zpracovatelný tvar a úroveň. Jmenovité vstupní hodnoty ochrany jsou 100V a 5A, 1A, 0,2A nebo 150 mV pro senzory. Tyto veličiny jsou přiváděny na vstup ochrany z měřících transformátorů nebo senzorů. Jsou zpracovávány na úroveň voltů a ampérů pro potřeby měřícího členu. Vstupní členy digitálních ochrany jsou tvořeny A/D převodníky. Tyto převodníky provedou vzorkování a následné kvantování vstupního signálu, tímto se převede analogový signál na diskrétní.

Popudový člen

V případě vzniku poruchy dává popudový člen signál měřicímu členu a logice ochrany. Popud zajistí rozběh logiky a měřícího členu, ty rozhodnou zda ochrana zapůsobí. Konstrukcí je podobný měřicímu členu, ale je citlivější.

Měřicí člen

Rozhoduje o poruše v objektu. Na jeho vstup je přiveden stav chráněného objektu. Měřicí člen vymezuje prostor působení ochrany.

Logika

Zpracovává signál z popudu a určuje funkci měřicího členu. Na základě signálů z měřicího členu pak dává pokyn koncovému členu. Vstupy i výstupy logiky jsou booleovské funkce. Proto lze struktury logiky vytvořit jako soustavu tří logických funkcí: součtu, součinu a negace. Logika se realizuje těmito členy: klasická pomocná relé, jazýčkové relé, diody, tranzistory, integrované obvody nebo software číslicového procesoru.

Koncový člen

Funkcí koncového členu je upravit signál logiky tak, aby byl schopen provést prostřednictvím vypínače vypnutí chráněného objektu a zároveň signalizovat vznik poruchy obsluze. Koncové členy jsou většinou tvořeny pomocnými relé s výkonovými kontakty.

Časový člen

Zajišťuje prodloužení doby působení ochrany. Časový člen je ovládán signálem z logiky ochrany. Používá se z těchto důvodů:

- a) Zajištění selektivity – pomocí zpoždění ochrana umožňuje působit jiné ochraně blíže místu poruchy.
- b) Využití možné akumulace energie v objektu – zpožděním může ochrana umožnit přetížení, toto přetížení nesmí ohrozit chráněný objekt.
- c) Vyloučení chybného působení ochrany, které je způsobeno přechodnou poruchou krátkého trvání.

Napájecí člen

Napájení může být zajištěno několika způsoby: ochrany bez napájení (nepotřebují pomocné napájení), přímé napájení ze staniční baterie, napájení přes stabilizátor, akumulátor umístěny v ochraně, galvanické oddělení soustavou střídač – usměrňovač, napájení z přístrojových transformátorů.

Počet a druh členů v ochraně, závisí na jejím typu. [3.]

1.6. Rozdělení ochran

Rozdělení ochran podle typu chráněného objektu:

- a) alternátoru
- b) motoru
- c) transformátoru
- d) přípojníc
- e) vedení
- f) kabelu

Rozdělení ochran podle druhu poruchy:

- a) zkratová
- b) při přetížení
- c) podpět'ová
- d) nadpět'ová
- e) podfrekvenční
- f) nadfrekvenční
- g) při zemním spojení
- h) při zpětném toku výkonu
- i) při ztrátě buzení
- j) při nesouměrnosti

Rozdělení ochran podle doby působení:

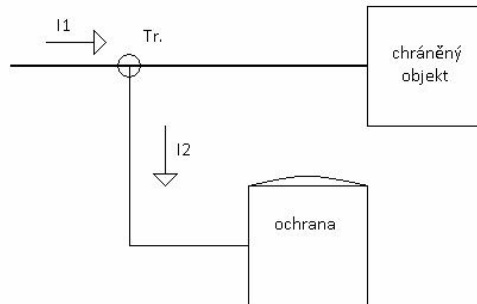
- a) mžiková
- b) časově závislá
- c) časově nezávislá

Rozdělení ochran podle konstrukce:

- a) elektromechanická
- b) tranzistorová
- c) číslicová

2. Nadproudové ochrany

Proudové ochrany využívají toho, že při zkratu nebo přetížení vzrůstá proud tekoucí do zařízení. Výhodou je jejich jednoduchost. Nevýhodou je menší selektivita v porovnání s distančními nebo rozdílovými ochranami, proto se používají jako záložní ochrany u méně důležitých zařízení.



Obr. 2.1 Nadproudová ochrana objektu

Rozdělení proudových ochran z hlediska času zpoždění:

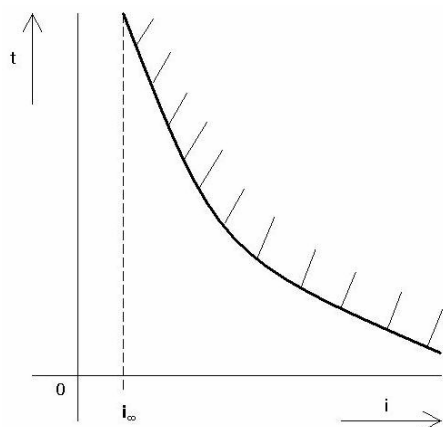
- a) Závislá ochrana má charakteristiku definovanou jako funkci proudu (obr. 2.2)

$$t = \frac{K}{(i - i_{\infty})^n} \quad \text{pro } i > i_{\infty} \quad (2.1)$$

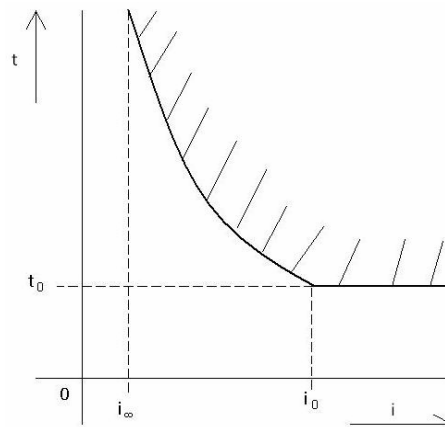
$$t = \infty \quad \text{pro } i \leq i_{\infty}$$

- b) Polozávislá ochrana má charakteristiku působení shodně definovanou jako závislá ochrana, ale jen do velikosti proudu i_0 . Pro proudy větší než i_0 již nezkracuje dobu působení. (obr. 2.3)
- c) Nezávislá ochrana působí v nastaveném čase t_k při dosažení proudu i_k . Doba působení nezávisí na velikosti proudu $i > i_k$. (obr. 2.4)
- d) Mžiková ochrana působí při překročení nastaveného proudu i_k bez zpoždění. Samotné zpoždění je dáno vlastním časem ochrany, dnes se udává asi do 10ms. (obr. 2.5)

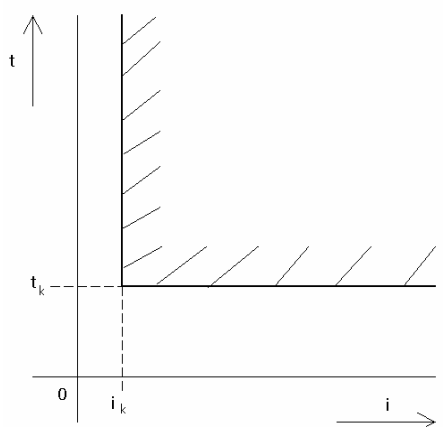
Dále mohou být ochrany závislé a polozávislé vybaveny zkratovým článkem. Zkratový článek působí při dosažení proudu i_k mžikově. (obr. 2.6 a obr. 2.7)



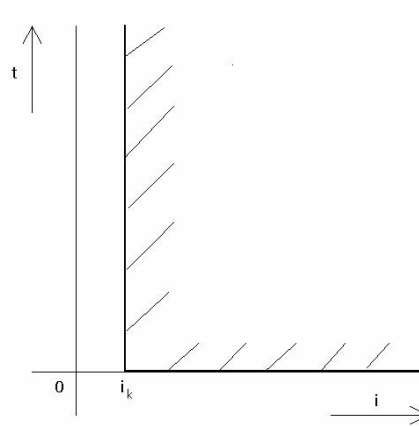
Obr. 2.2 Charakteristika závislé proudové ochrany



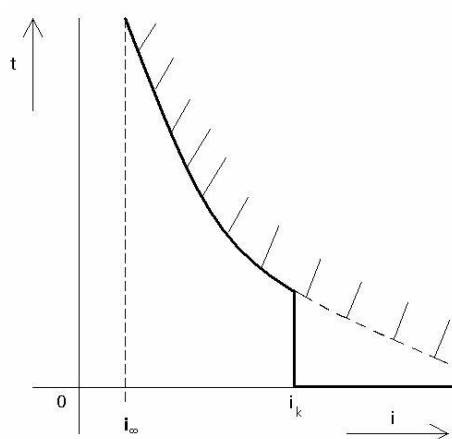
Obr. 2.3 Charakteristika polozávislé proudové ochrany



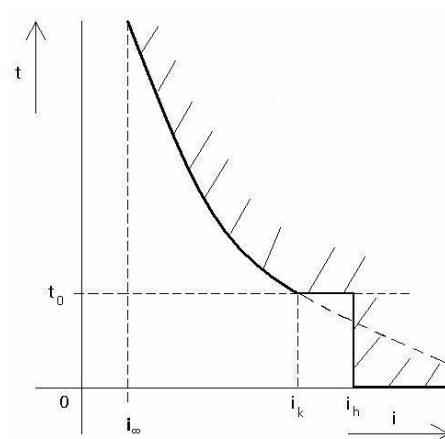
Obr. 2.4 Charakteristika nezávislé proudové ochrany



Obr. 2.5 Charakteristika mžikové proudové ochrany



Obr. 2.6 Charakteristika závislé proudové ochrany se zkratovým článkem



Obr. 2.7 Charakteristika polozávislé proudové ochrany se zkratovým článkem

Proudové ochrany proti přetížení

Přetížení je průchod příliš velké energie zařízením. Tato porucha způsobuje mechanické, ale hlavně tepelné poškození. Provoz zařízení při vyšších teplotách výrazně urychluje stárnutí izolace.

Proudové ochrany proti přetížení musí být nastaveny tak, aby přerušily každé přetížení v tak krátkém čase, než by vyvolalo škodlivé oteplení izolace, spojů, koncovek nebo okolí vedení. Jako ochranu proti přetížení je možné použít ochranu s kvadratickou charakteristikou $K=i^2t$, ($n=2$), která znázorňuje tepelnou akumulaci energie v objektu. Tyto ochrany působí se zpožděním, které je odvozeno z konstantní akumulované energie objektu. Tato energie vychází z mezní schopnosti chráněného objektu akumulovat energii při poruše. Tento typ ochran, však není přesný, protože neznázorňuje přesné oteplení uvnitř stroje, které závisí také na intenzitě chlazení.

Tepelný obraz

Tato ochrana je dokonalejší proti přetížení, protože počítá nejen s přímým vlivem nadproudu, ale i s teplotou chladicího prostředí, tedy i s intenzitou chlazení. Je vybavena sondou tepelného obrazu, která se u transformátorů umísťuje do pomocné nádoby s olejem a u strojů chlazených vzduchem, do vycházejícího vzduchu. Sonda obsahuje tepelný model stroje s nastavitelnou časovou konstantou. Sonda je vyhřívána proudem, který je úměrný proudu objektu a je chlazená stejnou látkou jako chráněný objekt. Ochrana působí v závislosti na stavu tepelného modelu stroje. Některé ochrany jsou vybaveny ukazatelem vnitřní teploty. Většinou je ochrana ve formě stavebnice, takže je možné sestavit:

- Tepelný model s nastavitelnou tepelnou časovou konstantou τ .
- Časově závislou ochranu s možností nastavení časových konstant τ , bez vlivu chladicího prostředí (sonda se umístí mimo chladicí prostředí).
- Ochranu reagující na nebezpečné zvýšení teploty v určitém místě stroje (ložiska, drážka apod.) s použitím přístroje bez sondy. V tomto případě je platinový teploměr umístěn přímo v měřeném místě.

Popsanou ochranu je možné realizovat pomocí mikroprocesorů.

Pro motory nn se nepoužívá tepelný obraz, ale platinový teploměr popř. pozistor umístěný ve vinutí stroje. Umístění pozistoru nebo teploměru do vinutí stroje není vhodné pro motory vn, protože:

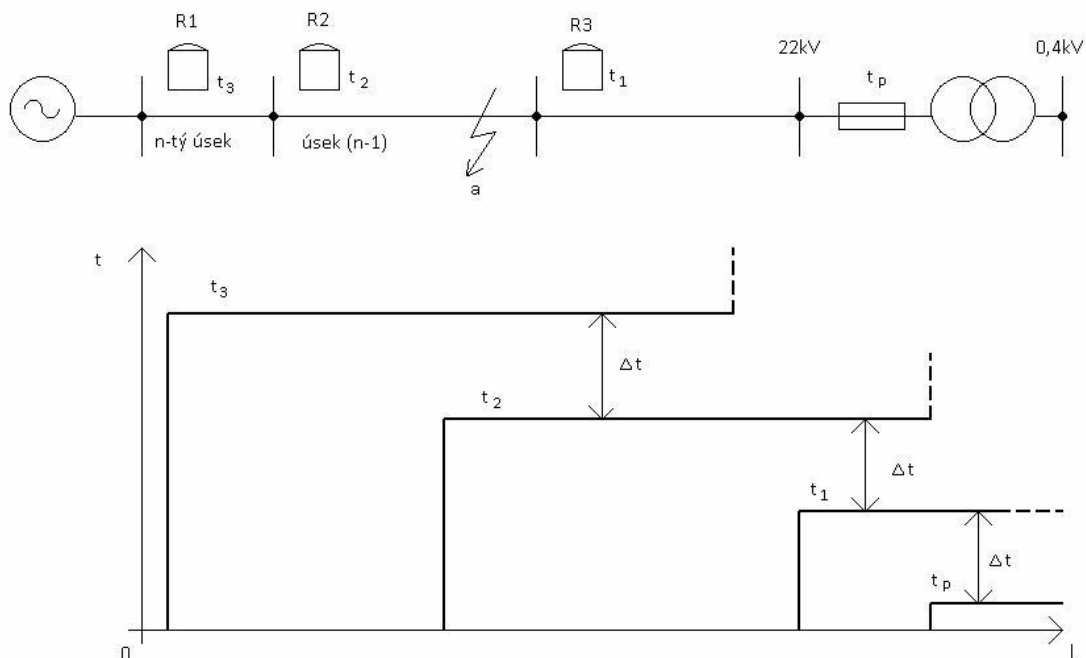
- zmenšuje mechanickou pevnost vinutí,
- musí být izolován, izolace narušuje elektrický gradient stroje a tím může narušit elektrickou pevnost,
- na izolaci vzniká teplotní spád, který zkresluje měření,
- ochrana může chybně vypnout při lokálním přehřátí, u tepelného obrazu k tomuto nedochází, protože měří průměrnou teplotu stroje.[1.]

2.1. Nezávislé nadproudové ochrany

Nezávislé nadproudové ochrany jsou používány nejčastěji v radiálních sítích vysokého napětí, ve kterých je řada úseků spojena v sérii. Dále v radiálních sítích, ve kterých je na koncích jednotlivých úseků malý rozdíl velikosti zkratových proudů. Ta ochrana, která leží nejdál od zdroje, působí v nejkratším čase t_1 . Tento čas musí být takový, aby v další rozvodné síti nízkého napětí působily nejprve pojistky a přitom ochrana R_1 nepůsobila.

Ochranu umístěnou blíže ke zdroji R_2 je potřeba seřadit na čas $t_2 = t_1 + \Delta t$ a stejným způsobem ochranu R_3 na čas $t_3 = t_2 + \Delta t$. Koordinační interval Δt závisí hlavně na přesnosti zpožďovacího časového členu a na provedení nadproudových relé. Tento interval bývá u nadproudových ochrann 0,25 – 0,5s.

Příklad chránění paprskového vedení nezávislými nadproudovými ochranami se zakresleným vypínacím plánem je znázorněn na obr. 2.9.



Obr. 2.9 Vypínací plán nezávislých nadproudových ochrann

Proudové nastavení měřících členů je nutné seřadit tak, aby se ochrany v sousedních úsecích popř. i více úsecích vzájemně zálohovaly. Pokud vznikne zkrat v místě „a“, jako v Obr. 2.9, rozbíhá se při vhodném proudovém nastavení současně ochrana R_2 a R_3 . V tomto případě provede vypnutí ochrana R_2 nejbližší zkratu v čase t_2 . Pokud tato ochrana selhala, provede vypnutí ochrana R_3 v čase t_3 , který je delší než t_2 .

Nevýhoda je, že nezávislé nadproudové ochrany vypínají nejpozději nejtěžší zkraty, které jsou nejbližší ke zdroji. Výhoda je, že vhodným proudovým nastavením se mohou tyto ochrany vzájemně zálohovat. Při nastavení všech ochrann na velikost nejmenšího zkratového proudu na konci vedení najíždějí všechny ochrany do místa zkratu směrem ke zdroji.

Při jejich nastavení však musíme přihlídnout k tomu, že nesmí při normálním proudovém přetížení nabíhat.

2.1.1. Nastavování nezávislých nadproudových ochran

a) Stanovení stupně časové selektivity Δt

Při návrhu časového odstupňování ochran se stanoví stupeň časové selektivity (prodlevy) rozdílem časového zpoždění ochran dvou sousedních úseků.

$$\Delta t = t_n - t_{(n-1)} \quad (2.3)$$

Stupeň časové selektivity Δt musíme stanovit takový, aby porucha na předchozím úseku (n-1) byla odpojena dříve, než zapůsobí ochrana následujícího n-tého úseku (směrem ke zdroji). Měl by být co nejmenší, kvůli snížení úrovně časového zpoždění systému nadproudových ochran. Při stanovení Δt se bere v úvahu:

- doba vypnutí $t_{v(n-1)}$ vypínače předcházejícího úseku (n-1)
- celková absolutní největší kladná chyba $t_{r(n-1)}$ předcházejícího časového členu ochrany
- celková absolutní největší záporná chyba t_{rn} časového členu následující ochrany
- záložní čas t_z , zahrnující nepřesnosti předcházejících činitelů (0,1s)

$$\Delta t = t_{v(n-1)} + t_{r(n-1)} + t_m + t_z \quad (2.4)$$

V praxi bývá tento stupeň časové selektivity v rozmezí 0,25 až 0,5s podle typu vypínačů a ochran.

b) Nastavení rozběhového proudu nadproudových nezávislých ochran

Rozběhový proud I_r musí být větší než největší dovolené zatížení vedení:

$$I_r \geq \frac{k_b \cdot I_n}{k_p \cdot p_i} \quad (2.5)$$

I_n - největší dovolené zatížení vodičů vedení, popřípadě transformátorů

k_p - přídržný poměr relé (bývá v rozmezí 0,85 až 0,95)

k_b - koeficient bezpečnosti a se volí v rozmezí 1,1 až 1,35

p_i - jmenovitý převod jistících transformátorů proudu

Dále rozběhový proud I_r nadproudového relé musí být menší, než nejmenší očekávaný zkratový proud na konci chráněného úseku pro omezený provozní stav zapojení sítě. U sítí vysokého napětí, které jsou u nás zpravidla provozovány izolovaně (s izolovaným uzlem transformátoru nebo uzemněným přes Petersonovu cívku) je nejmenší zkratový proud při dvoupólovém zkratu.

Podmínkou spolehlivého naběhnutí relé při nejmenším zkratovém proudu na konci jištěného úseku je:

$$I_r < \frac{I_{k \min}}{k_c \cdot p_i} \quad (2.6)$$

$I_{k \min}$ - nejmenší zkratový proud na konci chráněného úseku, kde konec chráněného úseku je dán délkou zálohování. Pro ochranu R_3 je to alespoň úsek k ochraně R_1 .

k_c - koeficient citlivosti nadproudových ochran, volí se zpravidla pro elektromechanické ochrany nejméně 1,5 a pro digitální ochrany 1,2.

Tato rezerva v nastavení nadproudových ochran se může jevit jako zbytečně vysoká. Musíme však počítat s tím že zapojení vlastní rozvodné sítě včetně zapojení zdrojů se neustále mění v důsledku revizí, generálních oprav a nahodilých poruch.

c) Koordinace proudového nastavení ochran v úsecích řazených za sebou

Ochrana, která je blíž ke zdroji nesmí být citlivější, než ochrany ostatních vzdálenějších úseků. Nastavení by mělo být provedeno tak, aby vyhovovalo podmínce (za předpokladu, že síť má pouze jeden zdroj)

$$I_{rn} = (1,1 - 1,3) I_{r(n-1)} \quad (2.7)$$

I_{rn} , $I_{r(n-1)}$ - proudové nastavení v úseku n a $(n-1)$.

Při proudovém nastavení musíme uvažovat zkratový proud, který v místě připojení ochrany skutečně protéká (tzv. koeficient větvení k_v) např. při chránění paralelních větví.

Podpět'ové odblokování nadproudových ochran

Selektivita nadproudových nezávislých ochran se dá zvýšit blokováním podpět'ovou ochranou. To znamená, že nadproudová ochrana vypíná pouze v tom případě, když klesne napětí v místě jejího připojení pod nastavenou velikost. Pokles napětí je závislý na vzdálenosti místa zkratu.

Nastavení působení podpět'ové ochrany je teoreticky určeno vztahem:

$$U_r \leq \left| \frac{\bar{Z}_l}{\bar{Z}_l + \bar{Z}_s} \right| \cdot U_i \quad (2.8)$$

U_r - rozběhová hodnota podpět'ového relé při zkratu na konci chráněného úseku o impedanci Z_l

Z_s - náhradní impedance napájecí soustavy

U_i - vnitřní napětí náhradního zdroje soustavy

V praxi musí rozběhové napětí podpětového relé splňovat tyto podmínky:

- a) Ochrana nesmí působit při minimálním pracovním napětí U_{\min} v místě jejího připojení.

Pro splnění této podmínky musí být rozběhové napětí podpětového relé menší jako minimální pracovní napětí U_{\min} a zároveň se podmětové relé musí po odstranění poruchy vrátit do klidové polohy. Rozběhové napětí s uvažováním přídržného poměru je určeno vztahem:

$$U_r < \frac{U_{\min} \cdot k_p}{k_b \cdot p_n} \quad (2.9)$$

k_b - koeficient bezpečnosti ($k_b=1,1 - 1,2$)

k_p - přídržný poměr relé

p_n - je převod transformátoru napětí.

- b) ochrana musí spolehlivě pracovat při zkratech po celé délce chráněného úseku vedení

Tuto podmínku lze zapsat rovnicí:

$$U_r < \frac{U_{k \max} \cdot k_c}{p_n} \quad (2.10)$$

k_c - koeficient citlivosti ($k_c \geq 1,5$)

$U_{k \max}$ - největší zbytkové napětí v místě připojení ochrany při zkratu na konci chráněného úseku vypočtené pro nejnepříznivější provozní stav (max. provozní stav).

Z praxe vyplývá, že u dlouhých vedení napájených z velkých zdrojů je citlivost podpětových relé nedostatečná. To je důvod, proč nadproudové nezávislé ochrany s odblokováním na podpětí jsou vhodné pro elektricky krátká vedení. Dále není vhodné jejich použití pro síť s velkými asynchronními motory. Tam je vhodné použít pouze ochrany distanční a rozdílové.

Nadproudové ochrany s blokováním na podpětí nepůsobí na přetíženích, při kterých nedochází k snížení napětí. Díky toho jsou citlivější na zkratové proudy než obyčejné nadproudové ochrany. Blokování podpětím se často používá pro zapínání vedení vn, hlavně kabelových.

2.2. Závislé nadproudové ochrany

Pro nezávislé ochrany je časové zpoždění na začátku a konci linky chráněného úseku konstantní. Chceme-li chránit vedení složené z více úseků, dostáváme příliš dlouhé vypínací časy u zdrojů. Výhodou závislých nadproudových ochran je zkrácení doby vypnutí poruchy na začátku vedení.

Volme charakteristiku nadproudové závislé ochrany takto:

$$(I - I_{\infty})t = K \quad (2.11)$$

I_{∞} - je určeno jmenovitým proudem chráněného objektu

K - nastavení ochrany

Zkratový proud na začátku chráněného úseku linky, když je Z_s impedance napájecí soustavy, je

$$I_z = \frac{U_i}{\bar{Z}_s} \quad (2.12)$$

a na konci chráněného úseku o impedanci Z_s :

$$I_z = \frac{U_i}{\left| \bar{Z}_s + \bar{Z}_l \right|} \quad (2.13)$$

Pro usnadnění můžeme zvolit $I_{\infty} = 0$. V tom případě je vypínací čas na začátku chráněného úseku vedení:

$$t_z = \frac{K}{I_z} = \frac{K \cdot \bar{Z}_s}{U_i} \quad (2.14)$$

a na konci:

$$t_k = \frac{K}{I_k} = \frac{K \cdot \left| \bar{Z}_s + \bar{Z}_l \right|}{U_i} \quad (2.15)$$

Poměr doby vypnutí zkratu na začátku a na konci chráněného úseku bude:

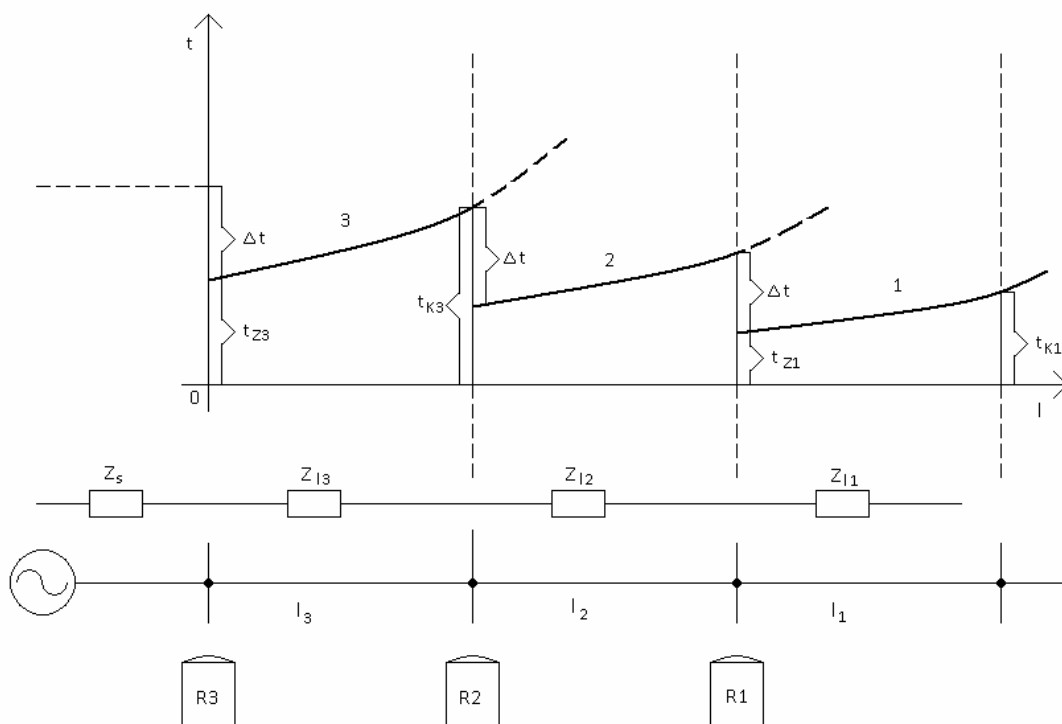
$$\frac{t_z}{t_k} = \frac{\bar{Z}_s}{\left| \bar{Z}_s + \bar{Z}_l \right|} \quad (2.16)$$

U nezávislých nadproudových ochran je čas na začátku a konci linky konstantní a to minimálně t_k . Výhodou závislé ochrany oproti nezávislé ochraně je v tom, že nezkracuje dobu vypnutí na začátku linky. Těžší zkraty blíže zdroji budou tedy vypínány v čase kratším, než t_k . Toto se projeví pouze tehdy, jestliže $Z_l \geq Z_s$.

Ukázka chránění paprskového vedení závislými nadproudovými ochranami se zakresleným vypínacím plánem je na obr. 2.10.

Závislé nadproudové ochrany jsou nejrozšířenější v paprskových sítích vysokého napětí, kde se uzemňuje uzel transformátoru přes odpor.

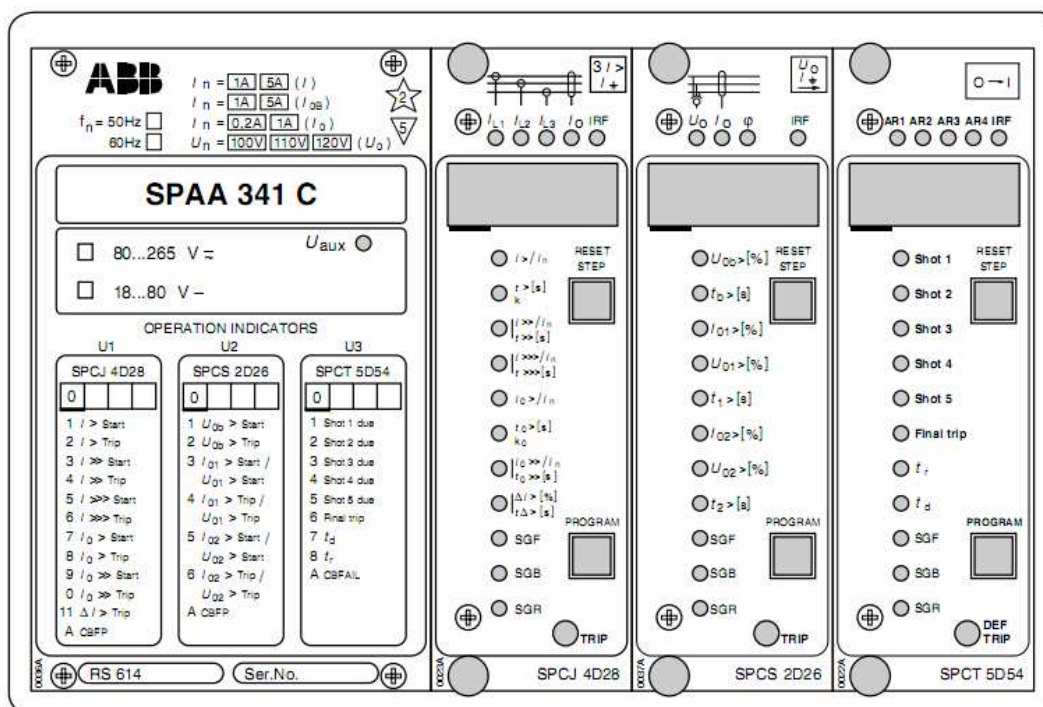
Obecně není možné na úsecích jednoho paprsku vzájemně kombinovat nadproudové závislé a nezávislé ochrany, protože by se mohly jejich vypínací charakteristiky vzájemně protínat. To by způsobilo chybné vypínání. Toto jsou důvody, proč se u nás nejčastěji používají ochrany nezávislé, kde je vypínací čas přesně definován a nemění se s proudem. Díky tomu, se vyhneme problémům při dodržení selektivity nadproudových ochran.



Obr. 2.10. Vypínací plán závislých nadproudových ochran[2.]

3. Digitální ochrana SPAA 341 C2

Digitální SPAA 341 C je vybavena třemi moduly. Používá se, pro selektivní chránění při zkratech a zemních poruchách. Na obr. 3.1 je znázorněn její čelní panel.



Obr. 3.1 Čelní panel Ochrany vývodu SPAA 341 C

Charakteristické vlastnosti

- Třífázová nadproudová ochrana se třemi stupni.
- Dvoustupňová nesměrová ochrana pro zemní poruchy a ochrana při fázové nevyváženosti.
- Dvoustupňová citlivá směrová ochrana pro zemní poruchy.
- Dvě paralelní měření nulového proudu: s normální citlivostí a se zvýšenou citlivostí.
- Automatická funkce opětného zapnutí s volbou jednoho až pěti cyklů opětného zapnutí.
- Dálkové ovládání vypínače prostřednictvím modulu s funkcí opětného zapnutí.
- Pět externích řídicích vstupů, umožňujících například externí spuštění cyklu opětného zapnutí.
- Sedm volně konfigurovatelných výstupních relé, jedni výstupní relé systému samočinné kontroly a jedno relé pro zapnutí vypínače.
- Čtyři konta pro dvoupólové vypnutí vypínače a dvoupólové zapnutí vypínače.
- Záznam měřených dat, která mohou být použita pro analýzu provozních stavů sítě.

- Přenos dat po sériové komunikační sběrnici.
- Trvalá samočinná kontrola a vnitřní diagnostika poruch.
- Čtení a zápis nastavených hodnot prostřednictvím displeje a tlačítek na čelním panelu, pomocí PC vybaveného SW pro nastavení nebo z vyšších systémových úrovní po sériové sběrnici.

Aplikace

Ochrana vývodů SPAA 341 C je určena pro selektivní chránění při zkratech a zemních poruchách v izolovaných radiálních sítích, v sítích rezonančně uzemněných a odporově uzemněných sítích.

V integrovaném souboru ochranných funkcí je zkratová ochrana pro zemní poruchy jednoho vývodu, funkce zpětného zapnutí a logika vnitřních signálů. Ochranu lze použít v aplikacích, které vyžadují dva typy chránění při zemních poruchách. Citlivou směrovou zemní ochranu a méně citlivou nesměrovou zemní ochranu.

Popis funkce

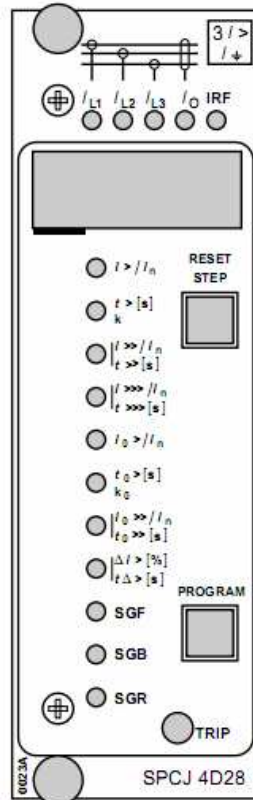
Ochrana vývodů SPAA 341 C je sekundární zařízení určené k připojení na proudové a napěťové transformátory té části sítě, která má být chráněna. Ochrana vývodů obsahuje tři moduly: třífázový kombinovaný modul nadproudové ochrany a ochrany pro zemní poruchy typ SPCJ 4D28, modul směrové nebo nesměrové ochrany pro zemní poruchy typ SPCS 2D26 a modul funkce opětného zapnutí typ SPCT 5D54.

Ochrana při selhání vypínače

Moduly ochrany SPCJ 4D28 A SPC 2D26 jsou vybaveny integrovanou funkcí umožňující implementovat systém bezpečného vypnutí vypínače. Funkce při selhání vypínače je přiřazena výstupnímu relé TS1, takže v případě selhání místního vypínače je vypínací povel přímo směrován na nadřazený vypínač.

4. Modul SPCJ 4D28

Modul SPCJ 4D28 je vybaven třemi jednotkami. Nadproudovou jednotkou, jednotkou vyhodnocující zemní poruchu a jednotkou vyhodnocující fázovou nevyváženost. Na obr. 4.1 je znázorněn jeho čelní panel.



Obr. 4.1 Čelní panel kombinovaného modulu nadproudové ochrany a ochrany při zemních poruchách SPCJ 4D28

Charakteristické vlastnosti

- Nadproudový stupeň $I >$ (nízké seřiditelné hodnoty) s časově nezávislým zpožděním nebo časově závislým zpožděním: U časově závislého zpoždění lze volit šest typů charakteristik.
- Nadproudový stupeň $I >>$ (vysoké seřiditelné hodnoty) s časově nezávislým zpožděním. Nadproudový stupeň $I >>$ lze vyřadit z činnosti.
- Nadproudový stupeň $I >>>$ (velmi vysoké seřiditelné hodnoty) s časově nezávislým zpožděním. Nadproudový stupeň $I >>>$ lze vyřadit z činnosti.

- Nadproudový stupeň $I_{0>}$ (nízké seřiditelné hodnoty nulového proudu) s časově nezávislým zpožděním nebo časově závislým zpožděním. U časově závislého zpoždění lze volit šest typů charakteristik.
- Nadproudový stupeň $I_{0>>}$ (nízké seřiditelné hodnoty nulového proudu) s časově nezávislým zpožděním. Nadproudový stupeň $I_{>>>}$ lze vyřadit z činnosti.
- Stupeň vyhodnocující fázovou nevyváženost s časově nezávislým zpožděním. Stupeň vyhodnocující fázovou nevyváženost lze vyřadit z činnosti.
- Výstupní reléová matice umožňující přiřazení kteréhokoli popudového nebo vypínacího signálu ochranných stupňů na požadovaná relé.
- Flexibilní konfigurace signálů aktivujícího popud funkce opětného zapnutí.
- Místní zobrazení měřených, nastavených a zaznamenaných hodnot v okamžiku poruchy. Zápis a čtení nastavených hodnot prostřednictvím displeje a tlačítek na čelním panelu nebo z vyšší systémové úrovně přes sériový port a sběrnici z optického vlákna.
- Systém samočinné kontroly monitoruje průběžně provozní stav elektroniky a mikroprocesoru. V případě vyhodnocení trvalé poruchy aktivuje výstupní relé určené pro výstražnou signalizaci a blokuje ostatní reléové výstupy.

4.1. Popis funkce

Nadproudová jednotka

Nadproudová jednotka kombinovaného modulu nadproudové ochrany při zemních poruchách SPCJ4D28 je určena pro jednofázové, dvoufázové a třífázové nadproudové chránění. Nadproudová jednotka obsahuje tři nadproudové stupně: stupeň s nízkými seřiditelnými hodnotami $I_{>}$, stupeň s vysokými seřiditelnými hodnotami $I_{>>}$ a stupeň s velmi vysokými seřiditelnými hodnotami $I_{>>>}$.

Nadproudový stupeň je aktivován, pokud proud v jedné nebo více fázích překročí nastavenou popudovou hodnotu odpovídajícího stupně. Při náběhu stupně je aktivován popudový signál, který lze přiřadit k požadovanému výstupnímu relé. Na displeji je současně zobrazen číselný kód indikující popud stupně. Pokud poruchový stav trvá déle, než je nastavený čas působení stupně s nezávislým časovým zpožděním, nebo déle, než je čas působení závislého časového zpoždění stupně $I_{>}$ (čas závislý na velikosti měřeného proudu), je tímto stupněm aktivován signál o působení, který lze přiřadit k požadovanému výstupnímu relé.

Jednotka vyhodnocující zemní poruchu

Jednotka kombinovaného modulu nadproudové ochrany při zemních poruchách SPCJ 4D28 vyhodnocující zemní poruchy je vybavena dvěma ochrannými stupni: nadproudový stupeň s nízkými seřiditelnými hodnotami nulového proudu $I_{0>}$ a nadproudový stupeň s vysokými seřiditelnými hodnotami nulového proudu $I_{0>>}$.

Stupeň s nízkými seřiditelnými hodnotami nebo stupeň s vysokými seřiditelnými hodnotami je aktivován, pokud měřený nulový proud nebo sumární proud nulových složek fázových proudů překročí nastavenou popudovou hodnotu odpovídajícího stupně. Při náběhu stupně je aktivován popudový signál, který lze přiřadit k požadovanému výstupnímu relé. Na displeji je současně zobrazený číselný kód indikující popud stupně. Pokud poruchový stav trvá déle, než je nastavený čas působení stupně s nezávislým časovým zpožděním, nebo déle než je čas působení závislého časového zpoždění stupně $I_0 >$ (čas závislý na velikosti měřeného proudu), je tímto stupněm aktivován signál působení, který lze přiřadit k požadovanému výstupnímu relé.

Jednotka vyhodnocující fázovou nevyváženost

Modul nadproudové ochrany při zemní poruše SPCJ 4D28 je vybaven ochranou jednotkou vyhodnocující fázovou nevyváženost. Tato funkce monitoruje minimální a maximální hodnoty fázových posuvů proudu. Diference mezi těmito hodnotami je vypočtena podle vztahu: $\Delta I = (I_{\max} - I_{\min}) / I_{\max} \times 100 [\%]$. Ochrana vyhodnocující fázovou nevyváženost není v činnosti, pokud měřené proudy klesnou pod hodnotu $0,1 \times I_N$.

Ochranný stupeň vyhodnocující fázovou nevyváženost je aktivován, pokud proudová diference překročí nastavenou popudovou hodnotou proudu ΔI tohoto stupně. Pokud poruchový stav trvá déle, než je nastavený čas působení stupně $t\Delta >$, je tímto stupněm aktivován signál o působení, který lze přiřadit k požadovanému výstupnímu relé. Současně je na displeji zobrazen červený kód indikující působení stupně.

4.2. Technické údaje měřeného stupně I_0

Popudový proud I_0

- Nezávislé časové zpoždění 0,5...5,0 x I_N
- Závislé časové zpoždění 0,5...2,5 x I_N

Typický čas popudu 70 ms

Čas působení – nezávislé časové zpoždění 0,05...300 s

Násobící faktor časové konstanty – “ k “ 0,05...1,0

Typický čas RESETU 40...1000 ms

Čas zpomalení 30 ms

Typický přídržný poměr 0,96

Přesnost času působení – režim $\pm 2\%$ nastavené hodnoty
 Nezávislého časového zpoždění nebo ± 25 ms

Třída přesnosti/ index E – režim 5
 závislého zpoždění

Přesnost působení $\pm 3\%$ nastavené hodnoty

5. Kontrola charakteristik modulu SPCJ 4D28

Nadproudovou charakteristiku lze nastavit. U proudově závislých charakteristik lze volit mezi normálně závislou, velmi závislou, extrémně závislou a dlouhodobě závislou. U všech vyjmenovaných charakteristik je čas působení při menších nadproudech delší a při větších nadproudech kratší. Čas působení se vypočítá podle vztahu (5.1)

$$t(s) = \frac{k \times \beta}{\left(\frac{I}{I_{>}}\right)^{\alpha} - 1} \quad (5.1)$$

kde: t = čas působení
 k = násobící faktor časové konstanty
 I = hodnota fázového proudu
 $I_{>}$ = nastavená proudová hodnota

Tab. 5.1 Hodnoty konstant α a β

Skupina časově / proudových charakteristik	α	β
Normálně závislá	0,02	0,14
Velmi závislá	1,0	13,5
Extrémně závislá	2,0	80,0
Dlouhodobě závislá	1,0	120,0

Použité přístroje:

Ochrana SPAA 341 C2 výr. č. 172514

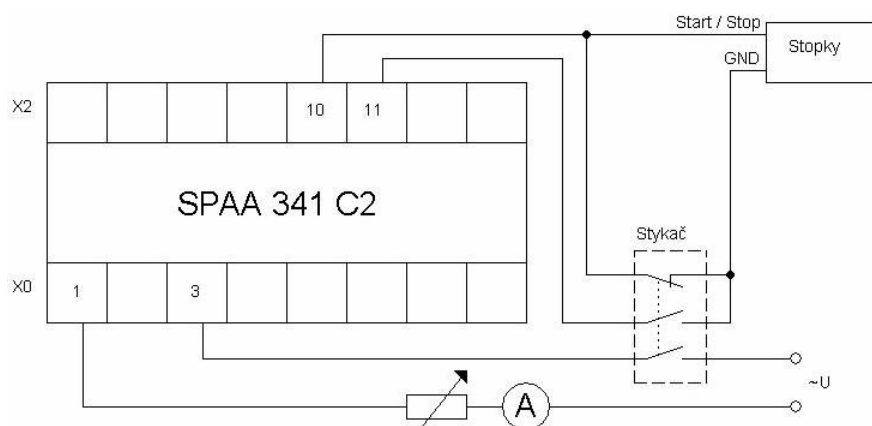
Multimetr Metrix MX 50 výr. č. 921346320158

Digitální stopky ev. č. 51400419

Stykač

Reostat 16 Ω , 10A Typ POD60P7

Laboratorní pult ev. č. 19813



Obr 5.1 Schéma zapojení

5.1. Normálně závislá charakteristika

1. Hodnoty pro nastavenou proudovou hodnotu $I >= 1A$

Příklady výpočtu času působení:

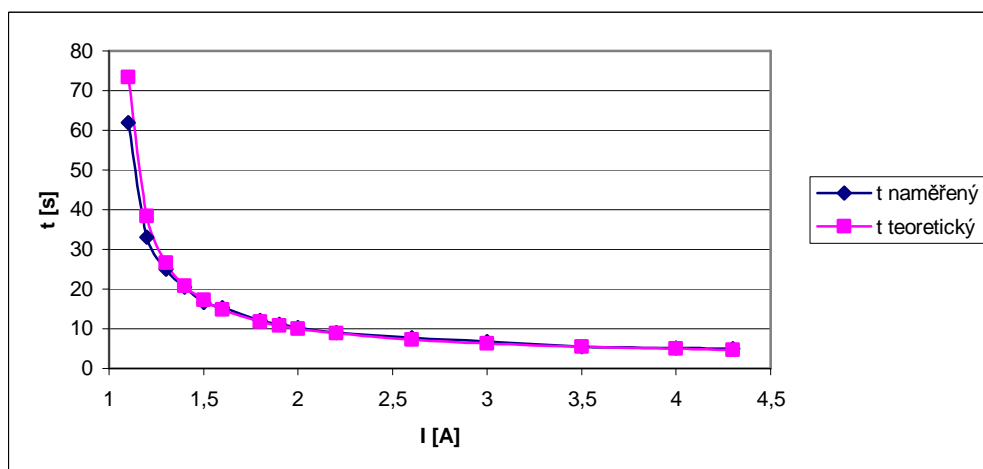
$$t_{teor.} = \frac{k \times \beta}{\left(\frac{I}{I >}\right)^{\alpha} - 1} = \frac{1 \times 0,14}{\left(\frac{2}{1}\right)^{0,02} - 1} = 10,03s \quad (5.2)$$

Příklad výpočtu relativní chyby:

$$\delta = \frac{t_{nam.} - t_{teor.}}{t_{teor.}} \cdot 100 = \frac{10,36 - 10,03}{10,03} \cdot 100 = 3,3\% \quad (5.3)$$

Tab. 5.2. Hodnoty pro normálně závislou vypínací charakteristiku, $I >= 1A$

I [A]	$t_{nam.}$ [s]	$t_{teor.}$ [s]	δ_t [%]
1,1	61,89	73,37	-15,65
1,2	33,12	38,32	-13,58
1,3	24,97	26,61	-6,16
1,4	20,56	20,73	-0,84
1,5	16,56	17,19	3,69
1,6	15,39	14,82	3,82
1,8	12,04	11,84	1,70
1,9	11,1	10,84	2,44
2	10,36	10,03	3,30
2,2	9,08	8,81	3,08
2,6	7,7	7,26	6,12
3	6,78	6,30	7,59
3,5	5,51	5,52	-0,14
4	5,24	4,98	5,23
4,3	5	4,73	5,72



Obr 5.2 Normálně závislá vypínací charakteristika, $I >= 1A$

2. Hodnoty pro nastavenou proudovou hodnotu $I_D = 2A$:

Příklady výpočtu času působení:

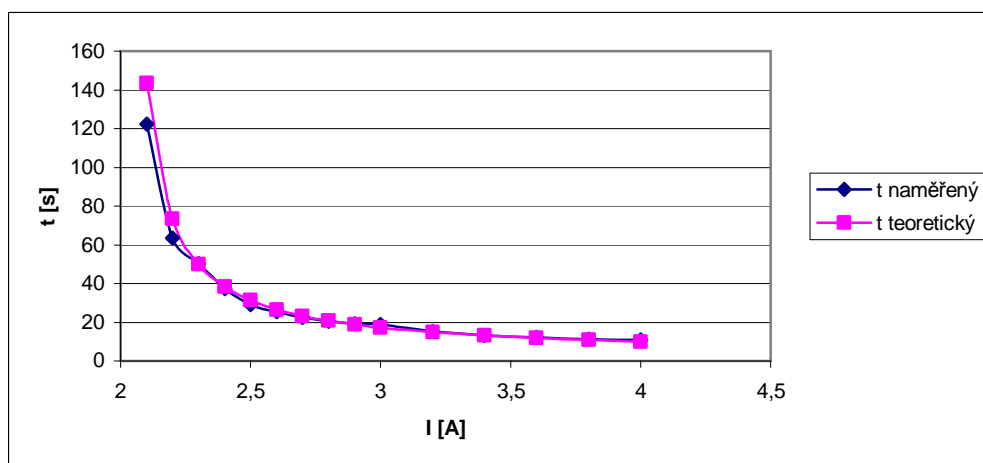
$$t_{teor.} = \frac{k \times \beta}{\left(\frac{I}{I_D}\right)^\alpha - 1} = \frac{1 \times 0,14}{\left(\frac{3}{2}\right)^{0,02} - 1} = 17,19s \quad (5.4)$$

Příklad výpočtu relativní chyby:

$$\delta = \frac{t_{nam.} - t_{teor.}}{t_{teor.}} \cdot 100 = \frac{18,79 - 17,19}{17,19} \cdot 100 = 9,3\% \quad (5.5)$$

Tab. 5.3. Hodnoty pro normálně závislou vypínací charakteristiku, $I_D = 2A$.

I [A]	$t_{nam.}$ [s]	$t_{teor.}$ [s]	δ_t [%]
2,1	122,28	143,40	-14,73
2,2	63,36	73,37	-13,65
2,3	50,41	50,02	0,79
2,4	37,51	38,32	-2,12
2,5	29,15	31,30	-6,87
2,6	25,49	26,61	-4,21
2,7	22,5	23,26	-3,25
2,8	20,4	20,73	-1,61
2,9	19,22	18,77	2,40
3	18,79	17,19	9,28
3,2	15,36	14,82	3,62
3,4	13,26	13,12	1,05
3,6	12,18	11,84	2,88
3,8	11,16	10,84	2,99
4	10,77	10,03	7,39



Obr 5.3 Normálně závislá vypínací charakteristika, $I_D = 2A$

5.2. Velmi závislá charakteristika

1. Hodnoty pro nastavenou proudovou hodnotu $I > 1\text{A}$

Příklady výpočtu času působení:

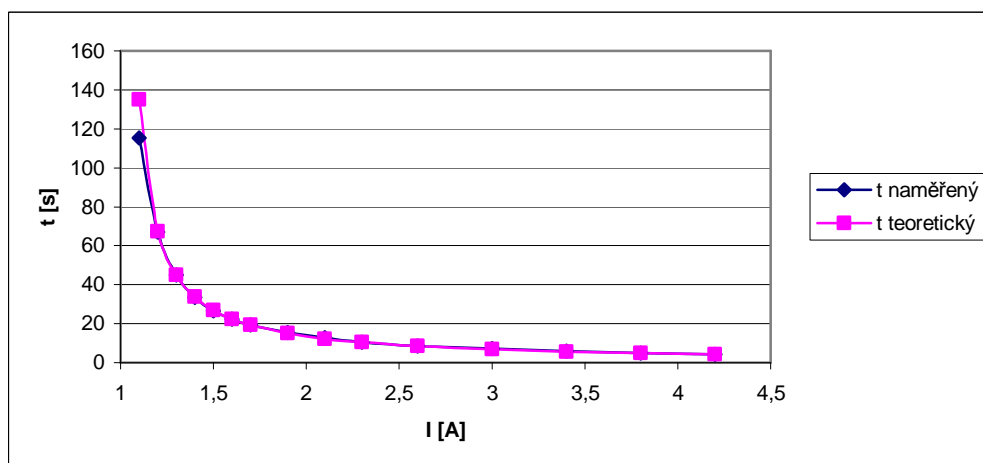
$$t_{\text{teor.}} = \frac{k \times \beta}{\left(\frac{I}{I >}\right)^{\alpha} - 1} = \frac{1 \times 13,5}{\left(\frac{1,9}{1}\right)^1 - 1} = 15\text{s} \quad (5.6)$$

Příklad výpočtu relativní chyby:

$$\delta = \frac{t_{\text{nam.}} - t_{\text{teor.}}}{t_{\text{teor.}}} \cdot 100 = \frac{15,29 - 15,00}{15,00} \cdot 100 = 1,93\% \quad (5.7)$$

Tab. 5.4. Hodnoty pro velmi závislou vypínací charakteristiku, $I > 1\text{A}$.

I [A]	$t_{\text{nam.}}$ [s]	$t_{\text{teor.}}$ [s]	δ_t [%]
1,1	115,37	135,00	-14,54
1,2	67,13	67,50	-0,55
1,3	45,13	45,00	0,29
1,4	33,41	33,75	-1,01
1,5	26,7	27,00	-1,11
1,6	22,32	22,50	-0,80
1,7	19,26	19,29	-0,13
1,9	15,29	15,00	1,93
2,1	12,88	12,27	4,95
2,3	10,54	10,38	1,50
2,6	8,69	8,44	2,99
3	7,25	6,75	7,41
3,4	5,94	5,63	5,60
3,8	5,08	4,82	5,36
4,2	4,37	4,22	3,59



Obr 5.4 Velmi závislá vypínací charakteristika, $I > 1\text{A}$

2. Hodnoty pro nastavenou proudovou hodnotu $I > = 2A$

Příklady výpočtu času působení:

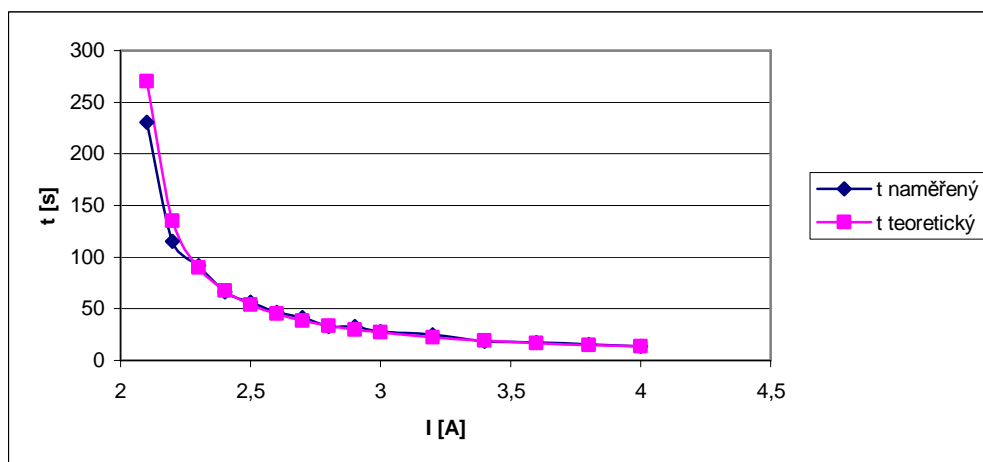
$$t_{teor.} = \frac{k \times \beta}{\left(\frac{I}{I >}\right)^{\alpha} - 1} = \frac{1 \times 13,5}{\left(\frac{3}{2}\right)^1 - 1} = 27s \quad (5.8)$$

Příklad výpočtu relativní chyby:

$$\delta = \frac{t_{nam.} - t_{teor.}}{t_{teor.}} \cdot 100 = \frac{28,17 - 27,00}{27,00} \cdot 100 = 4,33\% \quad (5.9)$$

Tab. 5.5. Hodnoty pro velmi závislou vypínací charakteristiku, $I > = 2A$.

I [A]	$t_{nam.}$ [s]	$t_{teor.}$ [s]	δ_t [%]
2,1	230,37	270,00	-14,68
2,2	115,37	135,00	-14,54
2,3	91,74	90,00	1,93
2,4	66,09	67,50	-2,09
2,5	56,28	54,00	4,22
2,6	46,19	45,00	2,64
2,7	41,47	38,57	7,51
2,8	33,01	33,75	-2,19
2,9	32,83	30,00	9,43
3	28,17	27,00	4,33
3,2	24,84	22,50	10,40
3,4	18,45	19,29	-4,33
3,6	17,13	16,88	1,51
3,8	15,64	15,00	4,27
4	13,64	13,50	1,04



Obr 5.5 Velmi závislá vypínací charakteristika, $I > = 2A$

5.3. Extrémně závislá charakteristika

1. Hodnoty pro nastavenou proudovou hodnotu $I > 1\text{A}$

Příklady výpočtu času působení:

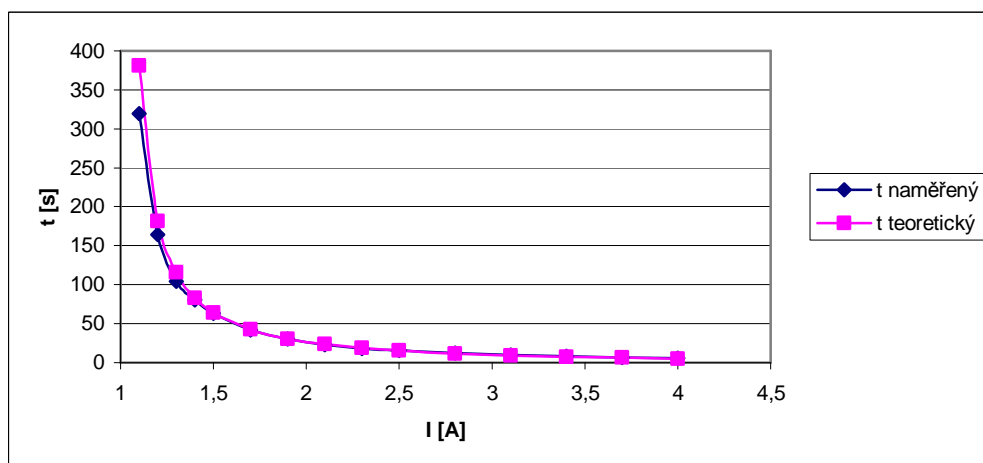
$$t_{\text{teor.}} = \frac{k \times \beta}{\left(\frac{I}{I >}\right)^\alpha - 1} = \frac{1 \times 80}{\left(\frac{1,9}{1}\right)^2 - 1} = 30,65\text{s} \quad (5.10)$$

Příklad výpočtu relativní chyby:

$$\delta = \frac{t_{\text{nam.}} - t_{\text{teor.}}}{t_{\text{teor.}}} \cdot 100 = \frac{30,73 - 30,65}{30,65} \cdot 100 = 0,26\% \quad (5.11)$$

Tab. 5.6. Hodnoty pro extrémně závislou vypínací charakteristiku, $I > 1\text{A}$.

I [A]	$t_{\text{nam.}}$ [s]	$t_{\text{teor.}}$ [s]	δ_t [%]
1,1	319,87	380,95	-16,03
1,2	164,16	181,82	-9,71
1,3	104,56	115,94	-9,82
1,4	80,81	83,33	-3,03
1,5	63,54	64,00	-0,72
1,7	41,52	42,33	-1,91
1,9	30,73	30,65	0,26
2,1	22,63	23,46	-3,54
2,3	18,48	18,65	-0,90
2,5	15,99	15,24	4,93
2,8	12,11	11,70	3,54
3,1	10,08	9,29	8,49
3,4	7,83	7,58	3,36
3,7	6,44	6,30	2,15
4	5,34	5,33	0,13



Obr 5.6 Extrémně závislá vypínací charakteristika, $I > 1\text{A}$

2. Hodnoty pro nastavenou proudovou hodnotu $I > 2A$

Příklady výpočtu času působení:

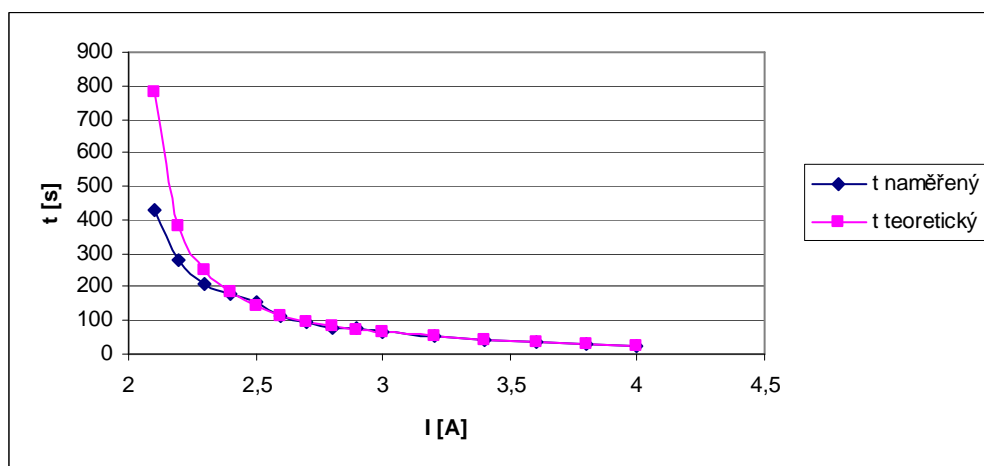
$$t_{teor.} = \frac{k \times \beta}{\left(\frac{I}{I >}\right)^{\alpha} - 1} = \frac{1 \times 80}{\left(\frac{3}{2}\right)^2 - 1} = 64s \quad (5.12)$$

Příklad výpočtu relativní chyby:

$$\delta = \frac{t_{nam.} - t_{teor.}}{t_{teor.}} \cdot 100 = \frac{66,32 - 64,00}{64,00} \cdot 100 = 3,62\% \quad (5.13)$$

Tab. 5.7. Hodnoty pro extrémně závislou vypínací charakteristiku, $I > 2A$.

I [A]	t _{nam.} [s]	t _{teor.} [s]	δ _t [%]
2,1	430,19	780,49	-44,88
2,2	280,37	380,95	-26,40
2,3	210,8	248,06	-15,02
2,4	176,31	181,82	-3,03
2,5	152,58	142,22	7,28
2,6	113,38	115,94	-2,21
2,7	95,87	97,26	-1,43
2,8	80,29	83,33	-3,65
2,9	79,98	72,56	10,22
3	66,32	64,00	3,62
3,2	52,28	51,28	1,95
3,4	43,11	42,33	1,85
3,6	35,66	35,71	-0,15
3,8	31,07	30,65	1,37
4	26,43	26,67	-0,89



Obr 5.7 Extrémně závislá vypínací charakteristika, $I > 2A$

5.4. Dlouhodobě závislá charakteristika

1. Hodnoty pro nastavenou proudovou hodnotu $I >= 1A$

Příklady výpočtu času působení:

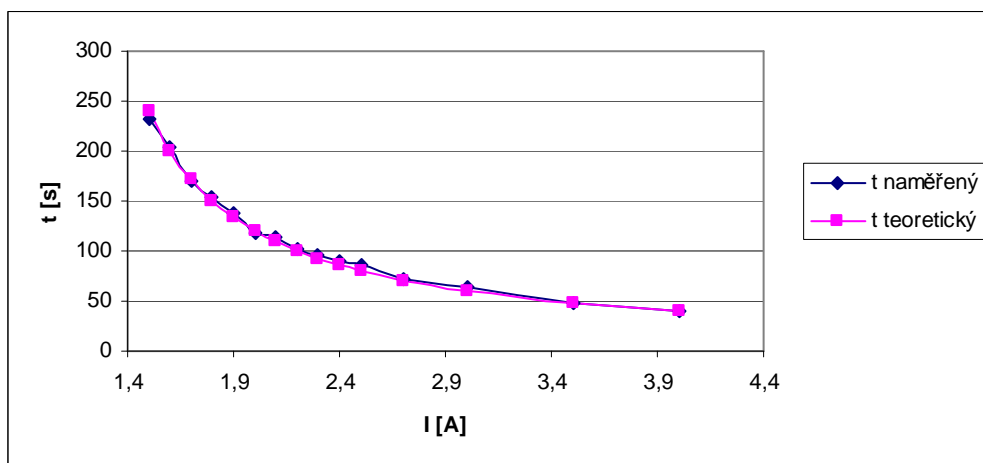
$$t_{teor.} = \frac{k \times \beta}{\left(\frac{I}{I >}\right)^{\alpha} - 1} = \frac{1 \times 120}{\left(\frac{2}{1}\right)^1 - 1} = 120s \quad (5.14)$$

Příklad výpočtu relativní chyby:

$$\delta = \frac{t_{nam.} - t_{teor.}}{t_{teor.}} \cdot 100 = \frac{118,65 - 120,00}{120,00} \cdot 100 = -1,13\% \quad (5.15)$$

Tab. 5.8. Hodnoty pro dlouhodobě závislou vypínací charakteristiku, $I >= 1A$.

I [A]	t _{nam.} [s]	t _{teor.} [s]	δ _t [%]
1,5	231,01	240,00	-3,75
1,6	204,72	200,00	2,36
1,7	170,62	171,43	-0,47
1,8	153,31	150,00	2,21
1,9	137,76	133,33	3,32
2	118,65	120,00	-1,13
2,1	114,29	109,09	4,77
2,2	102,09	100,00	2,09
2,3	95,22	92,31	3,15
2,4	90,71	85,71	5,83
2,5	85,11	80,00	6,39
2,7	72,98	70,59	3,39
3	64,07	60,00	6,78
3,5	48,77	48,00	1,60
4	40,28	40,00	0,70



Obr 5.8 Dlouhodobě závislá vypínací charakteristika, $I >= 1A$

2. Hodnoty pro nastavenou proudovou hodnotu $I > = 2A$:

Příklady výpočtu času působení:

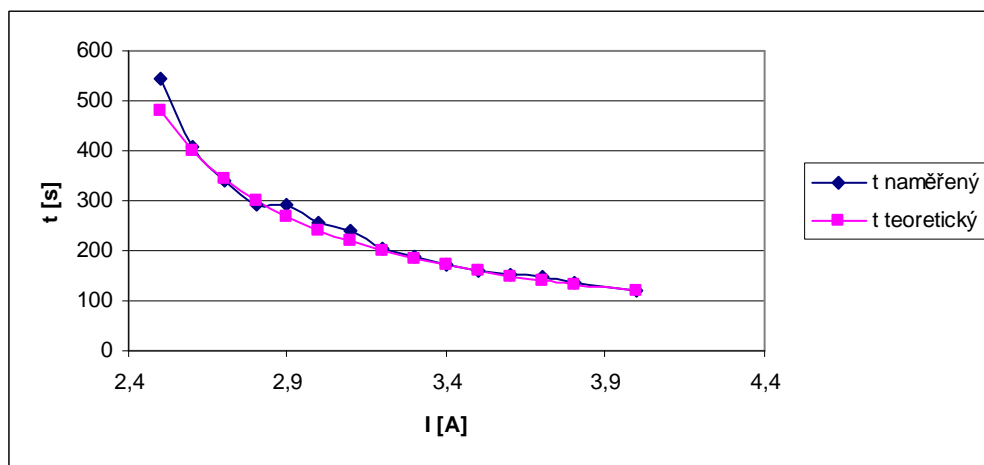
$$t_{teor.} = \frac{k \times \beta}{\left(\frac{I}{I >}\right)^{\alpha} - 1} = \frac{1 \times 120}{\left(\frac{3}{2}\right)^1 - 1} = 240s \quad (5.16)$$

Příklad výpočtu relativní chyby:

$$\delta = \frac{t_{nam.} - t_{teor.}}{t_{teor.}} \cdot 100 = \frac{256,07 - 240,00}{240,00} \cdot 100 = 6,7\% \quad (5.17)$$

Tab. 5.9. Hodnoty pro dlouhodobě závislou vypínací charakteristiku, $I > = 2A$.

I [A]	$t_{nam.}$ [s]	$t_{teor.}$ [s]	δ_t [%]
2,5	544,74	480,00	13,49
2,6	406,99	400,00	1,75
2,7	339,62	342,86	-0,94
2,8	292,04	300,00	-2,65
2,9	290,48	266,67	8,93
3	256,07	240,00	6,70
3,1	240,01	218,18	10,00
3,2	205,41	200,00	2,71
3,3	186,1	184,62	0,80
3,4	172,1	171,43	0,39
3,5	158,95	160,00	-0,66
3,6	151,83	150,00	1,22
3,7	146,12	141,18	3,50
3,8	136,49	133,33	2,37
4	120,32	120,00	0,27



Obr 5.9 Dlouhodobě závislá vypínací charakteristika, $I > = 2A$

5.5. Nezávislá charakteristika

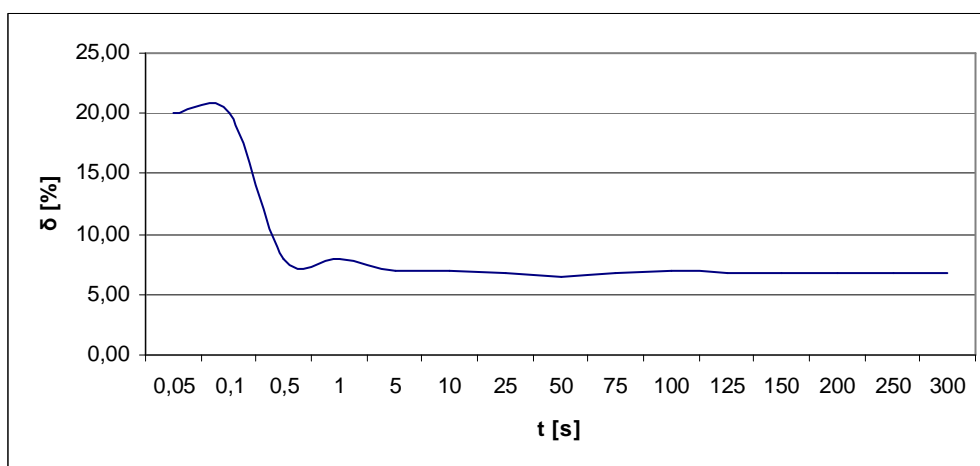
Naměřené a vypočtené hodnoty pro časy 0,05 s až 300 s. Nastavená proudová hodnota $I_D = 1\text{A}$ a zvolený proud $I = 2\text{A}$.

Příklad výpočtu relativní chyby:

$$\delta = \frac{t_{\text{nam.}} - t_{\text{teor.}}}{t_{\text{teor.}}} \cdot 100 = \frac{53,19 - 50}{50} \cdot 100 = 6,38\% \quad (5.18)$$

Tab. 5.10. Hodnoty pro nezávislou vypínací charakteristiku

$t_{\text{teor.}} [\text{s}]$	$t_{\text{nam.}} [\text{s}]$	$\delta_t [\%]$
0,05	0,06	20,00
0,1	0,12	20,00
0,5	0,54	8,00
1	1,08	8,00
5	5,35	7,00
10	10,69	6,90
25	26,71	6,84
50	53,19	6,38
75	80,13	6,84
100	106,89	6,89
125	133,58	6,86
150	160,28	6,85
200	213,68	6,84
250	267,05	6,82
300	320,51	6,84



Obr 5.10 Nezávislá vypínací charakteristika

6. Zhodnocení naměřených výsledků

Pro všechny závislé charakteristiky jsem změřil 15 hodnot. U časově závislých charakteristik má být podle manuálu k modulu SPCJ 4D28 přesnost času působení $\pm 3\%$. Do této tolerance se nevešla ani jedna celá změřená charakteristika. U normálně závislé charakteristiky pro nastavenou proudovou hodnotu $I_{>} = 1\text{A}$ se vešly do tolerance pouze 4 hodnoty a pro nastavenou proudovou hodnotu $I_{>} = 2\text{A}$ 7 hodnot. U velmi závislé charakteristiky pro nastavenou proudovou hodnotu $I_{>} = 1\text{A}$ se vešlo do tolerance 9 hodnot a pro nastavenou proudovou hodnotu $I_{>} = 2\text{A}$ 6 hodnot. U extrémně závislé charakteristiky pro nastavenou proudovou hodnotu $I_{>} = 1\text{A}$ se vešlo do tolerance 6 hodnot a pro nastavenou proudovou hodnotu $I_{>} = 2\text{A}$ 7 hodnot. Nejlépe vyšla dlouhodobá charakteristika pro nastavenou proudovou hodnotu $I_{>} = 2\text{A}$, kde se vešlo do tolerance 10 hodnot. Pro nastavenou proudovou hodnotu $I_{>} = 1\text{A}$ se vešlo do tolerance 6 hodnot. Největší relativní chybu $\delta = 44,88\%$ jsem spočítal u extrémně závislé charakteristiky pro nastavenou proudovou hodnotu $I_{>} = 2\text{A}$ a to pro proud $I = 2,1\text{A}$. Tato chyba byla dána hlavně tím, že nastavení proudu I pomocí multimetru nebylo přesné a u této charakteristiky a pro tak malý poměr $I / I_{>}$ má i velmi malá odchylka v nastaveném proudu velký vliv na naměřený čas. Použitý multimetr Metrix MX 50 má udávanou relativní chybu $\pm (2\% + 3C)$, což u nastavovaných proudů, které byly v rozmezí od 1,1 A do 4,3 A, udělalo chybu $\pm 52\text{ mA}$ pro proud 1,1A až $\pm 116\text{ mA}$ pro proud 4,3 A. Digitální stopky měly udávanou chybu $\pm 2\%$. U časově nezávislé charakteristiky jsem proměřil 15 hodnot, pro časy 0,05 s až 300 s. Podle manuálu je tolerance $\pm 2\%$ nastavené hodnoty nebo $\pm 25\text{ ms}$. Do tolerance $\pm 2\%$ se nevešla ani jedna naměřená hodnota, ale do tolerance $\pm 25\text{ ms}$ se vešly první dvě naměřené hodnoty.

Závěr

V úvodní kapitole této práce se zabývám teoretickým rozbořem ochran, popisuji obecně ochranu a chráněný objekt. Dále uvádím požadavky kladené na ochrany, základní pojmy oboru ochran, základní členy ochrany a rozdělení ochran. V druhé kapitole se již zaměřuji přímo na nadproudové ochrany a jejich nastavení. Ve třetí kapitole popisuji digitální ochranu SPAA 341 C2, její aplikaci, funkci a vlastnosti. Navazující kapitola se zaměřuje na její modul SPCJ 4D28, kde uvádím její vlastnosti, popis funkce a technické údaje měřeného stupně $I>$. Pátá kapitola se zabývá kontrolou vypínacích charakteristik modulu SPCJ 4D28. V poslední kapitole hodnotím naměřené výsledky.

Hlavní částí této práce je kontrola vypínacích charakteristik modulu SPCJ 4D28. Všechny závislé charakteristiky jsem změřil pro dvě nastavené proudové hodnoty $I> = 1\text{ A}$ a $I> = 2\text{ A}$. Naměřené a vypočtené hodnoty jsem uvedl v tabulkách a sestrojil k nim grafy, na kterých je vidět, že naměřené vypínací charakteristiky se lišily od vypočtených. Tyto nepřesnosti mohly být způsobeny nepřesností přístrojů. Stopky měří čas s chybou. Stykač nereaguje okamžitě, proto ani stopky nezačnou měřit čas v okamžiku impulsu z ochrany. Nejvíce se zřejmě podílel na chybě multimetr, podle kterého jsem nastavoval hodnotu fázového proudu I , protože i malá nepřesnost ve velikosti nastaveného proudu, výrazně ovlivní naměřené časy. Dále mohly být tyto odchylky způsobeny horší přesností působení ochrany. Přesnost působení má být podle manuálu k modulu SPCJ 4D28 $\pm 3\%$. Nezávislou charakteristiku jsem proměřil pro nastavené časy 0,05 s až 300 s. Sestrojil jsem graf její relativní chyby. Na odchylkách mezi naměřenými a nastavenými hodnotami se u této charakteristiky podílely stopky, stykač a nepřesnost času působení ochrany.

Literatura

- [1.] Dohnálek, P.: Ochrany pro průmysl a energetiku – SNTL – Nakladatelství technické literatury Praha 1991
- [2.] Haluzík, E.: Ochrany a automatiky v elektrických sítích – Skriptum VUT Brno 1985
- [3.] Grym, R.; Hochman, P.; Machoň, J.; Bermann, J.; Cihon, B.: Chránění II – Iris Ostrava 2004
- [4.] Hradílek, Z.: Elektroenergetika distribučních a průmyslových sítí – Skripta VŠB Ostrava 2008
- [5.] Firemní literatura a katalogy ABB, s.r.o.